

Estudo do comportamento mecânico e físico de um solo argiloso estabilizado com resíduos do processo de retificação e polimento de placas cerâmicas de porcelanato e cimento Portland.

Jorge Luiz de Vasconcellos (1), Luiz Renato Steiner (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) luizjorge12@gmail.com, (2) luizsteiner@unesc.net

Resumo: O presente trabalho, teve como objetivo avaliar o uso do resíduo do processo de retificação e polimento de placas cerâmicas de porcelanato RPP, em substituição parcial ao cimento Portland, na estabilização química de um solo argiloso de Formação geológica Palermo. Para avaliar o comportamento físico e mecânico do solo frente à estabilização com o RPP foi realizado um programa experimental onde foram estudadas composições de solo com 0%, 3%, 5% e 7% de cimento e mais três composições substituindo o cimento em 25% por RPP. As amostras estabilizadas com cimento e as com substituição parcial do cimento, foram avaliadas também frente a um período de cura de 14 dias para verificar se a cura empunha, alguma alteração em suas propriedades físicas e ou incremento em suas propriedades mecânicas. Sendo que o solo estudado em sua forma natural é considerado um solo de péssima qualidade, para obras de pavimentações, muito expansivo e de baixa capacidade de suporte. No estudo do comportamento do solo com as composições de cimento e cimento associado com RPP, foi obtido nas propriedades físicas das amostras estabilizadas, em comparação ao solo natural, pequenas alterações, apresentando um comportamento mais arenoso no solo alterado, mas não suficiente para mudanças em sua classificação, e um aumento na densidade com associação do cimento e RPP que relaciona um aumento em suas propriedades mecânicas. Com relação as alterações nas propriedades mecânicas, tanto com o uso somente do cimento quanto da associação de cimento e RPP, impuseram melhoras significativas nos solos, o resultado principalmente frente ao período de cura, apresentando uma baixa expansão, obtendo ganho na capacidade de suporte que possibilita o uso do solo em camadas de pavimentação dependendo da combinação de estabilização como camadas de subleito, reforço, sub-base e dependendo do tráfego até como base e um aumento de resistência apresentados no ensaio de compressão simples.

Palavras-chave: Melhoramento, estabilização, solo cimento.

Study of the mechanical and physical behavior of a clayey soil, stabilized with residues from the process of rectification and polishing process of porcelain tile ceramic plates and Portland cement.

Abstract: The objective of this study is evaluate of utilizing the residue from the process of rectification and polishing of porcelain tile ceramic plates RPP on partial substitution for Portland cement, in the chemically stabilization of a clayey soil of a Palermo geological

formation. To test the physical and mechanical behavior of the mentioned soil front of the stabilization with RPP, an experimental program was carried out in which were studied soil compositions with 0%, 3%, 5% e 7% of cement and plus three compositions switching 25% of cement by RPP. The specimen stabilized by cement plus the ones made partially were evaluated as well against a curing period of 14 days to verify whether this period could impose some alteration in its physical properties or increase its mechanical properties. Regarding the soil analyzed in its natural form is pointed as a low quality one for works and paving, beyond expansive and with a low support capacity. In the study of the behavior of the soil with the compositions of cement and cement associated with RPP, was obtained in the physical properties of the stabilized samples, in comparison to the natural soil, small alterations, presenting a more, sandy behavior in the altered, but not sufficient for changes in its classification, and an increase in the density with association of cement and RPP that relates increase in mechanical properties. With regard to the changes in mechanical properties both with cement only and with the cement and RPP association, significant improvements were observed in the soils, the results mainly in relation to the curing period, presenting a low expansion, obtaining a gain in the support capacity that allows the soil use in paving layers depending on the combination of stabilization as subgrade layers, reinforcement, subbase and depending on the traffic up to in the base and an increase of resistance presented in the simple compression test.

Key-words: improvement, stabilization, soil cement.

Introdução

Muitas vezes o solo natural destinado para um serviço de engenharia, não atende as especificações exigidas, sendo necessária à sua substituição ou sua correção, para que este apresente melhorias nas suas características físicas e mecânicas. Uma das maneiras de melhorar suas propriedades é alterar sua granulometria, adicionando-se grãos maiores como britas e solos mais arenosos ou a utilização de aditivos químicos no próprio local da obra, sendo uma boa opção de redução de custos e sustentabilidade. (OLIVEIRA, 2010).

“A estabilização de solos consiste em promover uma melhoria das características, físicas e mecânicas destes, permitindo assim a sua utilização em serviços de engenharia” (GUIMARÃES, 1998).

Conforme foi analisado por Peurifoy, R. L; Schexnayder, C. J; Shapira, A; Schmitt, R. L. (2015, p.133), a estabilização de solos com o uso de cimento Portland, é um método bem efetivo para melhorar a resistência do solo. O termo solo cimento se refere as misturas e tratamento do solo natural no greide com certas porcentagens de cimento, que podem variar,

de 3% a 7% para ser economicamente viável. Podem também ser usados tipos de cinzas volantes em substituição do cimento.

Outros materiais, como resíduos de processos industriais, vêm sendo estudados e utilizados como alternativa de substituição total ou parcial, ao cimento e a cal em estabilização de solos. Como por exemplo o uso de cinza volante, resíduo esse proveniente do processo de queima do carvão mineral. Apresentou resultados satisfatórios em solos argilosos, com uso de adições de cal e teores menores de cinza conforme, Meliande (2014). E o uso de resíduo de construção civil, para estabilizar um solo argilosos para áreas degradadas pelo carvão (SILVA, 2018).

Nesta linha de pesquisa, este estudo avaliou o uso do RPP (Resíduo de retificação e polimento de porcelanato), em substituição parcial ao cimento na estabilização de um solo. Estudos mostraram que o RPP em substituição parcial de 25 % ao cimento apresenta resultados de material cimentício suplementar, mantendo a consistência de argamassas, mostrando índices de atividade pozolânica, com a manutenção ou ganho a resistência (STEINER, 2014).

Carvalho (2013), afirma que o RPP é Proveniente da fabricação dos revestimentos cerâmicos esmaltados de porcelanato, cerâmica grés e cerâmica porosa, que são gerados na etapa de retificação e polimento do porcelanato. O resíduo produzido nesta etapa do processo industrial é constituído por uma mistura de água, material cerâmico e esmalte, gerando uma pasta com alto índice de umidade denominada industrialmente de “lodo de acabamento”, o qual após ser desidratado, é descartado diretamente em aterros. Este material é classificado segundo a norma NBR 10004/2014 da ABNT como resíduo classe IIA, resíduo sólido não inerte e não perigoso.

Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar o uso do RPP, em substituição parcial de 25% ao cimento Portland na estabilização de um solo argiloso de Formação Geológica Palermo, com baixa capacidade de suporte e elevada expansão, em serviços de engenharia na pavimentação.

Materiais e Método

Para realização deste estudo foram utilizados os seguintes materiais apresentados na figura 1.



Figura 1. (a) Solo de Formação geológica Palermo, (b) Resíduo de Polimento e Retífica do Porcelanato, (c) Cimento Portland CP IV.

O solo utilizado neste estudo foi extraído nas dependências do IPARQUE, Parque Científico e Tecnológico, da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), em Criciúma/SC nos pontos de coordenadas UTM Sul -28.731336 e Oeste -49.407786 conforme figura 2.



Figura 2. Coleta do solo.

Em seguida o material foi encaminhado ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) e de Materiais, do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), onde o mesmo foi destorroado, homogeneizado e levado a estufa para secagem. As amostras de solo foram preparadas, conforme norma NBR 6457/1986 da ABNT. Para execução de ensaios de compactação e de caracterização física e mecânica como descritos na tabela 1.

Tabela 1. Normas que foram utilizadas nos ensaios (Fonte: ABNT, 2016)

Tipo de norma	Código da norma
Granulometria	NBR 7181/2016
Limite de Liquidez	NBR 6459/2016
Limite de Plasticidade	NBR 7180/2016
Compactação	NBR 7182/2016
ISC	NBR 9895/2016
Ensaio de compressão Simples	NBR 12770/1992

O RPP foi coletado na empresa Poligress do Brasil, situada às margens da BR 101, km 396, da cidade de Maracajá, Santa Catarina. A empresa produz em média 12 toneladas por semana, que são estocados em bags, e são entregues a uma empresa que utiliza este resíduo na produção de telhas de cerâmica vermelha. Após sua coleta, o mesmo foi levado ao laboratório do (IDT), onde foi preparado conforme especificações da norma NBR 6457/86 da ABNT.

Conforme estudos de Lino (2018), o RPP é um material que apresenta partículas bem finas que variam de diâmetros entre 1 e 10 μm , menores do que a do próprio aglomerante cimento CP IV 32.

O cimento utilizado no estudo foi o cimento Portland pozolânico CP IV 32, que segundo a norma NBR 5736/1991 da ABNT. É um aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozolânicos, moídos em conjunto ou em separado. Na tabela 2 estão as especificações do cimento usado na pesquisa.

Tabela 2. Teores de componentes do cimento Portland Pozolânico (Fonte: NBR 5736, 1991)

Características e propriedades	Unidade	CP IV-32
Finura (resíduo na peneira 75 μm)	%	8,0
Tempo de início de pega	h	1
Tempo de fim de pega	h	12
Resistência 28 dias de idade	Mpa	32,0
Clínquer Sulfato de cálcio	%	85-45
Material Pozolânico	%	15-50
Material Carbonático	%	0-5

Para a realização desta pesquisa, foi elaborado um programa experimental, com uso de RPP e cimento CP IV 32, conforme tabela 3, onde foram adicionadas em três amostras de solo natural as porcentagens descritas de 3%, 5% e 7% de cimento primeiramente e com no uso de solo mais cimento e RPP, foi retirado 25% de cimento para cada porcentagem de 3%, 5% e 7% e substituído por RPP, totalizando seis combinações de estabilização do solo e mais uma amostra de solo natural para se ter uma referência das modificações esperadas. Todas as amostras estabilizadas também foram avaliadas por meio dos ensaios descritos na tabela 1, sem a realização de cura e com cura realizada num período de 14 dias, a fim de avaliar se ocorreria melhorias em suas propriedades físicas ou incremento em suas propriedades

mecânicas. Todo programa experimental foi elaborado com as amostras sendo densificadas na energia de compactação Proctor Normal (PN).

Tabela 3. Combinações de estabilização do solo com RPP e CP IV 32.

Siglas	Materiais	Percentuais de cada mistura
AM.N	Solo natural	Solo natural 100%
AM.C03	Solo + cimento	Solo + 3% (cimento)
AM.C05	Solo + cimento	Solo + 5% (cimento)
AM.C07	Solo + cimento	Solo + 7% (cimento)
AM.RC03	Solo + cimento + RPP	Solo + 3% (75%cimento e 25% RPP)
AM.RC05	Solo + cimento + RPP	Solo + 5% (75%cimento e 25% RPP)
AM.RC07	Solo + cimento + RPP	Solo + 7% (75%cimento e 25% RPP)

Resultados e Discussões

O solo natural utilizado no estudo é do tipo Formação geológica Palermo.

“É caracterizado por ocorrências de rochas sedimentares onde são encontrados siltitos, siltitos arenosos, predominando folhelhos silticos argilosos, os quais tendem a formar solos residuais dos tipos silto-argilosos e argilas siltosas, com coloração variando entre o cinza, o amarelo e o roxo” (ROSTIROLLA, 2012, p. 6).

Na tabela 4 é apresentado resultados da caracterização física e mecânica do solo natural.

Tabela 4. Caracterização do solo natural (Fonte: Iparque, 2018)

Características	Resultados
Limite de Liquidez	60%
Limite de Plasticidade	37%
Índice de plasticidade	23%
Índice de grupo	18
Classificação TRB	A7-5
% Passante peneira nº 200	99,3
Umidade ótima de compactação (energia Proctor Normal)	27,7%
Densidade máxima seca (energia Proctor Normal)	1,342 g/cm ³
CBR	5,2%
Expansão	3,7%

Como pode ser observado, nos resultados do solo natural, este é caracterizado como um solo argiloso e fino, demonstrado pelo Limite de Liquidez elevado e pelo índice de plasticidade, identificado como solo de comportamento plástico. Pela classificação TRB (Transportation Research Board), o solo apresentou um índice de grupo elevado, levando o solo a uma classificação A7-5, tipo de solo de comportamento péssimo para uso em camada de subleito em pavimentação. Este comportamento é evidenciado pela sua elevada expansão

3,7% e baixa capacidade de suporte, com ISC (Índice de Suporte Califórnia), de 5,2%. Conforme (DNIT, 2006) - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, em seu manual de pavimentação, recomenda que os materiais de subleito devem apresentar uma expansão menor ou igual a 2% e um ISC maior ou igual a 2%, sendo que para um material com estas características em pavimentação, é recomendada a sua remoção e substituição por material que atenda os parâmetros exigidos. Na tabela 5 estão apresentadas as propriedades físicas e a classificação das misturas estudadas para um período de cura de quatorze dias.

Tabela 5. Classificação e propriedades físicas com cura 14 dias para as seis combinações.

Características	AM.N 00	AM. RC03	AM .RC05	AM. RC07	AM. C03	AM. C05	AM. C07
LL (%)	60	62	55	59	56	57	56
LP (%)	37	41	42	44	40	41	42
IP	23	21	13	15	16	16	14
%Passante peneira nº200	99,30	99,2	98,4	98,4	98,6	99	99,3
IG	18	17	13	14	14	14	13
TRB	A7-5	A7-5	A7-5	A7-5	A7-5	A7-5	A7-5

Como pode ser observado, as propriedades físicas das misturas de solo estabilizado com cimento e solo com cimento e RPP, não apresentaram mudanças significativas em relação a amostra de referência. As amostras estabilizadas continuaram com LL (limites de liquidez), elevados, porém houve uma diminuição no IP (índice de plasticidade), favorecida pela adição do cimento e do RPP, situação característica do processo de estabilização que, além de incrementar a resistência mecânica, diminui a plasticidade dos solos estabilizados. Apesar da diminuição do LL e do IP das amostras estabilizadas, que promoveram a redução do Índice de Grupo (IG), esta não foi suficiente para alterar TRB permanecendo com uma classificação de solo, A7-5 que é considerado solos finos e argilosos, com índice de plasticidade elevado e sendo considerado muito expansivo em contato com a umidade conforme estudos de (SANTOS, 2012, p.05).

Na figura 3 é apresentado os resultados de densidade máxima seca e umidade ótima das amostras estudadas, obtidas na energia de compactação Proctor Normal.

Como observado, as adições de cimento e cimento substituído parcialmente por RPP promoveram um incremento na densidade máxima em relação a amostra de referência com pequena variação na umidade ótima nas amostras com resíduo e cimento e as amostras só com cimento como a AM. C03, AM.C05 e AM.C07 apresentaram incremento na umidade ótima.

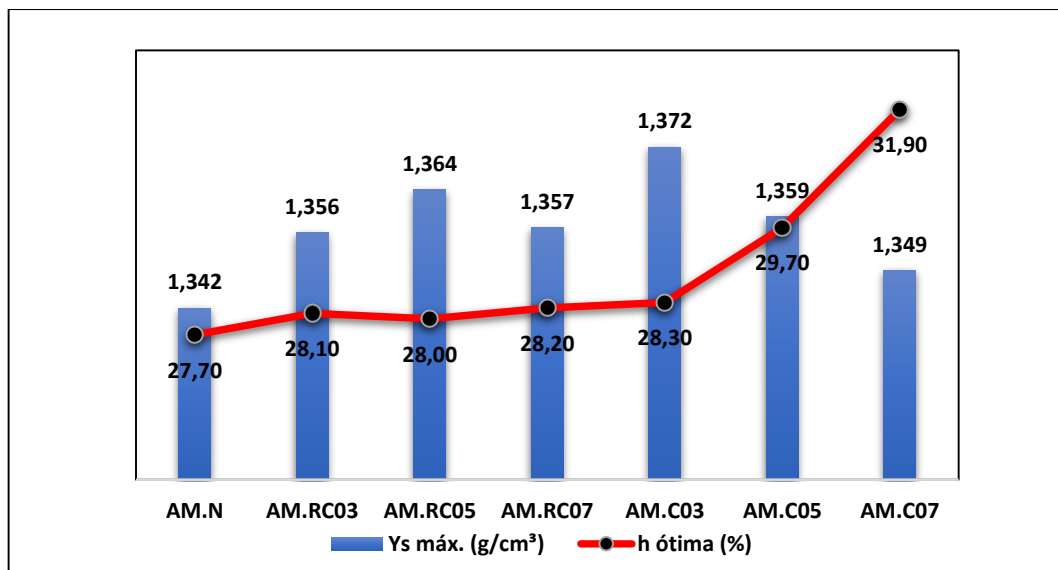


Figura 3. Densidade máxima seca e umidade ótima das amostras estudadas (Fonte: O autor, 2019)

A amostra AM.C03, das seis combinações, está estabilizada somente com 3% de cimento, foi a que obteve o melhor resultado, com um acréscimo 2,2% em relação a amostra de solo natural diminuindo o número de vazios do solo e aumentando a sua densidade. Já amostra AM.C07 estabilizada com 7% de cimento foi a que obteve o menor ganho, no quesito densidade em torno de 0,5%. Dentre as amostras com substituição parcial do cimento por RPP, a amostra AM.RC05 foi a que apresentou a maior densidade, 1,6% acima da amostra de referência. Como é percebido, as misturas com cimento substituído por 25% de RPP tiveram um comportamento mais homogêneo, em relação às amostras estabilizadas somente com cimento que, conforme era adicionado mais cimento ao solo, a densidade apresenta um decaimento com aumento na umidade ótima. O que fica evidenciado é que, as misturas estabilizadas com cimento mais o resíduo para os três percentuais estudados, propiciam uma melhora na interação entre as partículas do solo estabilizado, reduzindo os vazios e aumentando sua densificação, sugerindo um aumento de sua capacidade de suporte.

Para avaliar a capacidade de suporte do solo estabilizado, foram confeccionadas 12 amostras na umidade ótima e máxima densidade seca para cada mistura estudada, 6 avaliadas sem cura e as outras 6 amostras avaliadas com período de cura aos 14 dias de idade, a fim de verificar se pode haver alguma melhora no desempenho das misturas. Na tabela 6 é apresentado os resultados de expansão e ISC (índice de Suporte Califórnia) das misturas estudadas e valores de referência, conforme (DNIT, 2006) para ISC e expansão para uso em camadas de pavimento apresentados na tabela 7.

Tabela 6. Resultados do I.S.C e valores de referência de CBR e expansão.

Sigla das combinações	Sem cura		Cura 14 dias	
	CBR	Expansão(%)	CBR	Expansão(%)
AM.N	5,2	3,7	5,2	3,7
AM.RC03	5,1	4,82	9,6	1,850
AM.RC05	12,4	2,11	25,4	0,450
AM.RC07	46,2	1,12	61,6	0,080
AM.C03	9,87	2,38	17,6	0,670
AM.C05	26,9	1,18	50,7	0,060
AM.C07	46,3	1	47,5	0,040

Tabela 7. Valores de referência para camadas de pavimento (Fonte: DNIT, 2006).

Tipos de uso do solo	I.S.C	Expansão
Subleito	$\geq 2\%$	$\leq 2\%$
Reforço de subleito	Maior que Subleito	$\leq 1\%$
Sub-Base	$\geq 20\%$	$\leq 1\%$
Base	$\geq 80\%$	$\leq 0,5\%$

Como visto na tabela 6, as amostras AM.RC07 e AM.C07 sem cura foram as que obtiveram os melhores resultados de CBR (Califórnia Bearing Ratio), e expansão na mesma ordem de grandeza. E tendo as amostras tratadas somente com cimento os melhores desempenhos para o CBR em relação as amostras tratadas com cimento parcialmente substituído por RPP e sem cura. Com relação a capacidade de suporte todas as amostras estudadas sem cura, atenderam ao CBR mínimo de 2%, exigido para solo de subleito e camada de reforço do subleito. Para camadas de sub-base as amostras AM.RC07, AM.C05 e AMC07 atenderam o CBR mínimo de 20% e para camada de base nenhuma amostra ao zero dias de cura atenderam ao CBR mínimo de 60% para tráfego leves e 80 % para tráfego pesado conforme norma do (DNIT, 2006) para pavimentação. Perante a expansão, as amostras AM.RC07, AM.C05 e AMC07 se enquadram para solos de subleito e somente a amostra AM.C07 atende para camada de sub-base e ou reforço de subleito. Nas amostras com cura de 14 dias, todas as amostras obtiveram CBR e expansão dentro dos parâmetros de subleito e ou reforço do subleito, tendo somente a amostra AM.RC03 a expansão acima da requerida para reforço. Com relação ao uso como camada de sub-base, a amostra AM.RC03 não atendeu os parâmetros de CBR e expansão e a amostra AM.C03 não alcançou somente o valor de CBR requerido. Para camada de base, somente a amostra AM.RC07 atendeu os requisitos de CBR para trafego leve e expansão.

Analisando os resultados das amostras com relação à realização da cura, fica evidenciado que o processo propicia as reações de hidratação do cimento dentro da mistura. Enrijecendo a estrutura do solo estabilizado, refletindo diretamente na melhoria das

propriedades físicas e mecânicas das misturas, pois o processo promoveu uma redução média da expansão superior a 77% para as amostras tratadas com cimento e RPP e mais de 82% para as amostras tratadas somente com o cimento CP IV 32.

As amostras AM.RC03, AM.RC05 e AM.RC07 obtiveram um ganho no CBR de 33,33%, 88,24%, e 104,84% respectivamente em relação as amostras sem cura, uma média de ganho de 75,47%. Já as tratadas somente com cimento, as amostras AM.C03, AM.C05 e AM.C07 obtiveram um ganho no CBR de 78,32%, 88,48% e 2,59%, respectivamente e com um ganho médio de 56,46%. Como pode ser observado também, as misturas tratadas com a combinação do cimento CP IV32 e RPP na cura obtiveram os melhores desempenhos com relação a capacidade de suporte, indicando que houve uma interação entre o resíduo e o cimento.

Esta interação pode ser atribuída primeiramente ao efeito físico de interação das partículas (efeito fíller), tendo em vista que as partículas do solo, em sua maioria, possuem uma granulometria inferior a 0,075mm pois 99,30% é passante na peneira n° 200, as partículas do cimento são 92% inferior a 75 µm e as do resíduo são inferiores a 10 µm. Esta variação no tamanho das partículas entre os materiais pode estar promovendo uma diminuição dos vazios na estrutura do solo estabilizado, aumentando sua densificação e dificultado a introdução de água para seu interior, explicando a redução significativa das expansões. Outro aspecto a ser observado quanto aos melhores desempenhos das amostras tratadas com a mistura do cimento e o RPP na cura é o efeito pozolânico do RPP associado ao cimento.

Estudos mostram que o RPP em adição ou substituição parcial ao cimento em 25%, apresenta os melhores resultados em termos de ganho de resistência a compressão e este bom desempenho está diretamente ligados a interação química do cimento com o RPP, por meio do efeito pozolânico. Andreola et al (2010), em seus estudos com cimento e RPP, menciona que com adição de 25% de RPP, aos 90 dias de cura, a mistura obteve um melhor desempenho em relação a amostra de referência e que isto está relacionado ao efeito pozolânico do RPP, Steiner, (2014) estudando o índice de atividade pozolânica do RPP em argamassas, mostra que o resíduo é muito reativo e que o teor de 25% em substituição ao cimento obteve também o melhor desempenho geral.

Desta forma, confirmado pelos melhores resultados das misturas estabilizadas com a associação do cimento CP IV 32 e RPP aos 14 dias de cura, mostrando que a melhora nas propriedades físicas e mecânicas do solo estabilizado se deve a uma associação dos efeitos fíller e pozolânico do RPP.

As propriedades mecânicas das amostras estabilizadas com e sem o período de cura, também foram avaliadas por meio da resistência a compressão simples, e os resultados são apresentados na Figura 4.

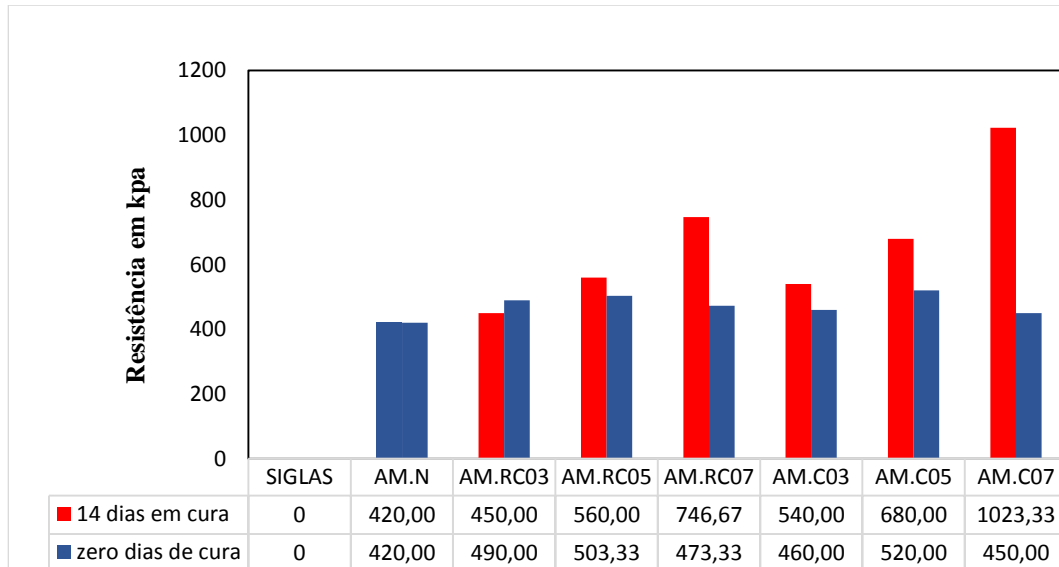


Figura 4. Resistência a compressão simples com 0 e 14 dias de cura.

Conforme resultados mostrados na figura 4, as amostras sem o período de cura, não apresentaram ganhos significativos em comparação a amostra de referência. Das amostras estabilizadas com a mistura de CP IV32 e RPP sem cura, a que obteve melhor resistência a compressão foi a amostra AM.RC05, sendo superior a amostra de solo natural em 16,56%. Nas amostras estabilizada somente com cimento e sem cura a que obteve a maior resistência a compressão foi a amostra AM.C05, sendo 19,23% superior a amostra de referência.

As amostras que passaram pelo período de cura, já apresentaram um desempenho bem superior em relação as amostras de referência e as sem cura, tendo as amostras AM.RC07 e AM.C07 um ganho na resistência a compressão de 77,78% e 143,65% respectivamente em relação a amostra não estabilizada de referência. Comparando os resultados das amostras estabilizadas com o período de cura e sem cura, a amostra AM.RC03 apresentou um decréscimo de 8,89% em relação a mesma sem cura, já as amostras AM.RC05 e AM.RC07 apresentaram respectivamente um ganho de resistência de 11,26% e 57,75% em relação as mesmas sem cura. Já as estabilizadas somente com CP IV32, as amostras AM.C03, AM.C05 e AM.C07 apresentaram 17,39%, 30,77% e 127,41% de ganho de resistência a compressão respectivamente em relação as mesmas sem cura.

É verificado que, igualmente na avaliação do CBR, na resistência a compressão a cura amplia a melhora das propriedades mecânicas do solo estabilizado, tanto nas misturas com cimento e RPP quanto nas tratadas somente com cimento, porém, na compressão, as misturas que tiveram o melhor desempenho na cura foram as estabilizadas somente com cimento. Esta inversão de desempenho entre o CBR e a resistência a compressão das amostras estabilizadas com cura pode estar atribuído ao fato de que as amostras tratadas com a mistura mais rica de cimento e RPP, impuseram a estas um comportamento de solo menos plástico, ou seja, o solo ficou com um comportamento de solo mais arenoso e com possível diminuição da coesão e isso pode ser observado nos resultados do IP das misturas. Como o ensaio do CBR é feito com o solo confinado no cilindro, e o comportamento dos solos arenosos é regido pela tensão de confinamento, ou seja, um mesmo solo confinado pode apresentar propriedades mecânicas superior a um solo na condição não confinado, e como o ensaio de resistência a compressão é realizado sem confinamento, as misturas estabilizadas somente com cimento CP IV32, permaneceram mais coesas e obtiveram os melhores resultados.

Conclusões

Com os resultados obtidos no estudo de estabilização de um solo de formação Geológicas Palermo, com cimento CP IV32 e este, associado e substituído parcialmente por RPP. Conclui se que:

As propriedades físicas das amostras estabilizadas, em comparação ao solo natural, obtiveram pequenas alterações em seus parâmetros que impuseram nas misturas estabilizadas com cimento CP IV32 e o resíduo do processo de retifica e polimento de placas cerâmicas RPP, um comportamento mais arenoso, porém não foram suficientes para alterarem sua classificação pela TRB de A7-5, sendo considerado por esta, um solo regular a mal para uso em pavimentação. A estabilização com a associação do cimento e RPP e somente o cimento, impuseram ao solo natural um aumento em sua densidade, e esta, associada a uma melhoria em suas propriedades mecânicas.

Com relação as propriedades mecânicas, tanto o solo estabilizado somente com cimento e com a associação de cimento e RPP, impuseram melhorias ao solo natural. O CBR do solo natural aumentou de 5,2% para 46,2% na mistura AM.RC07 e 46,3% na mistura AM.C07 sem cura e suas expansões ficaram em 1,12% 1,00% respectivamente. A amostra AM.RC07 é utilizável como subleito, e a AM.C07 pode ser utilizada como subleito, reforço

deste e até como camada de sub-base. As demais amostras sem cura e devido suas elevadas expansões, não podem ser indicadas para nenhuma camada do pavimento.

As amostras que passaram pelo processo de cura de 14 dias, obtiveram os melhores resultados, chegando a alcançar CBR de 61,6% para a amostra AM.RC07 e 50,7% para amostra AM.C05. Todas as amostras apresentaram expansões abaixo de 2,00% para solo de subleito e para reforço e sub-base, somente a amostra AM.RC03 não atendeu a expansão abaixo de 1,00%. Inclusive amostras apresentaram expansões abaixo de 0,5% para camadas de base, observado nas misturas AM.RC05, AM.RC07, AM.C05 e AM.C07.

Os resultados de resistência a compressão simples também mostraram que a estabilização do solo com cimento e cimento substituído em 25% por RPP é eficaz, porem com resultados mais significativos realizando o processo de cura, onde a amostra AM.RC07 apresentou uma resistência 746,67 KPa e a amostras AM.C07 de 1023,33 KPa, em comparação com 420,00KPa da amostra de solo natural. De modo geral, fica evidenciado que a estabilização do solo aqui estudado, utilizando cimento CP IV32 e a associação e substituição parcial deste por RPP é possível, pois ambas as situações de misturas estudadas, possibilitaram melhorias no solo natural, e tendo os melhores resultados ambas as misturas com 5% e 7%. Porém sendo as misturas com 5% e 7% de cimento substituído por RPP as mais vantajosas, uma vez que estamos substituindo o cimento em 25% por resíduo e este fazendo com que as propriedades físicas e mecânicas sejam mantidas semelhantes ou até mesmo ampliadas em comparação as estabilizadas somente com cimento.

Em conformidade com estudos já realizados utilizando o RPP em substituição parcial, ao cimento, e avaliados por meio de ensaios normatizados e procedimentos aqui aplicado neste estudo é correto afirmar que há uma interação positiva entre o resíduo de RPP e o cimento, seja ela por efeito fíller e ou pozolânico da mistura em idades maiores de cura.

Sugestões trabalho futuros

- ✓ Avaliar a estabilização do solo, frente as combinações estudadas, quanto ao aumento ou redução dos parâmetros de ângulo de atrito e coesão, por meio de ensaio de cisalhamento direto.
- ✓ Levantamento de custos para usos pratico em pavimentações, taludes e aterros.
- ✓ Aumento das porcentagens em 50% do RPP em substituição ao cimento.
- ✓ Avaliar o comportamento das misturas estudadas com períodos maiores de cura.

Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:** Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895:** Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos Sólidos classificação. Rio de Janeiro: ABNT,2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736:** Cimento Portland Pozolânico classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Análise granulométrica. Rio de Janeiro 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12770:** Determinação da resistência a compressão não confinada. Rio de Janeiro, 1992.
- ANDREOLA, Fernanda et al. **New blended cement from polishing and glazing ceramic sludge. International Journal of Applied Ceramic Technology: Ceramic Product Development and Commercialization**, v. 7, n. 4, p. 546-555, 2010.
- CARVALHO, Eduardo Viviani. **Utilização do resíduo da retífica de Cerâmica de revestimento na Produção de Concreto para pavimento Intertravado.**2013.161f. Dissertação (em Tecnologia na área de concentração Tecnologia e Inovação) -Universidade Estadual de Campinas, Limeira.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 1.v.
- DAS, BRAJA M; SOBHAN, K. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** São Paulo: Cengage Learning, 2015. xv, 612 p.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação.** 3ª edição. Rio de Janeiro, 2006.
- GUIMARÃES, José Epitácio Passos. **A cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** São Paulo: Pini 1998.

JUENGER, M.C.G. **Quantifying microstructural variations in cement pastes: implications on drying shrinkage**, Ph.D., Northwestern University, Illinois, 1999.

LINO, Gabriela Francisco. **Caracterização mecânica de um solo argiloso estabilizado com resíduo de retificação cerâmica para utilização em pavimentos**. Trabalho de Conclusão de curso - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2018.

MURRIETA, Pedro. **Mecânica dos solos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. 1 ed.

MELIANDE, Amanda Maria Chrispim. **Análise do comportamento de misturas de solos com cinza volante de carvão mineral e cal**. Rio de Janeiro, 2014. 149 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, PUC, RJ.

OLIVEIRA, Eduardo. **Emprego da cal na estabilização de solos finos de baixa resistência e alta expansão**: Estudo de caso no município de ribeirão das neves/MG. 2010. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

PAIVA, Cassio Eduardo Lima De. **Superestrutura e infraestrutura de ferrovias, critérios para projetos**. Elsevier editora Ltda. Rio de Janeiro, 2014.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. 247 p.

PEURIFOY, R. L; SCHEXNAYDER, C. J; SHAPIRA, A; SCHMITT, R. L. **Planejamento, equipamentos e métodos para a construção civil**. Tradução de Alexandre Salvaterra, Francisco Araújo da Costa. 8ª ed, AMGH, editora Ltda., 2015.154 p.

ROSTIROLLA, Rafael Casagrande. **Determinação dos parâmetros físicos e mecânicos dos solos da Formação Palermo e Rio Bonito do município de Criciúma - SC**. 2012. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma.

ROSSO Jeancarlo, Cunha Edilene de Souza, Rojas-Ramírez Roberto A. **Cerâmica Industrial, Características Técnicas e Polimento de Porcellanatos**,10 (4) julho/agosto de 2005, academia.edu.

SANTOS, Adailton Antônio. **Classificação dos Solos – TRB (HRB) e IG**. Apostila Mecânica dos Solos I. Universidade do Extremo sul Catarinense. Criciúma, 2012.

STEINER, Luiz Renato. **Efeito do resíduo do polimento de porcelanato como material cimentício suplementar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, SC, 2014.

SILVA, Tiago Luiz Costa da. **Estudo do comportamento geotécnico de misturas de solo argiloso e resíduos da construção civil para aplicação como barreira hidráulica em áreas degradadas**. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2018.